

Raumwirkungen innovativer Konzepte und Technologien

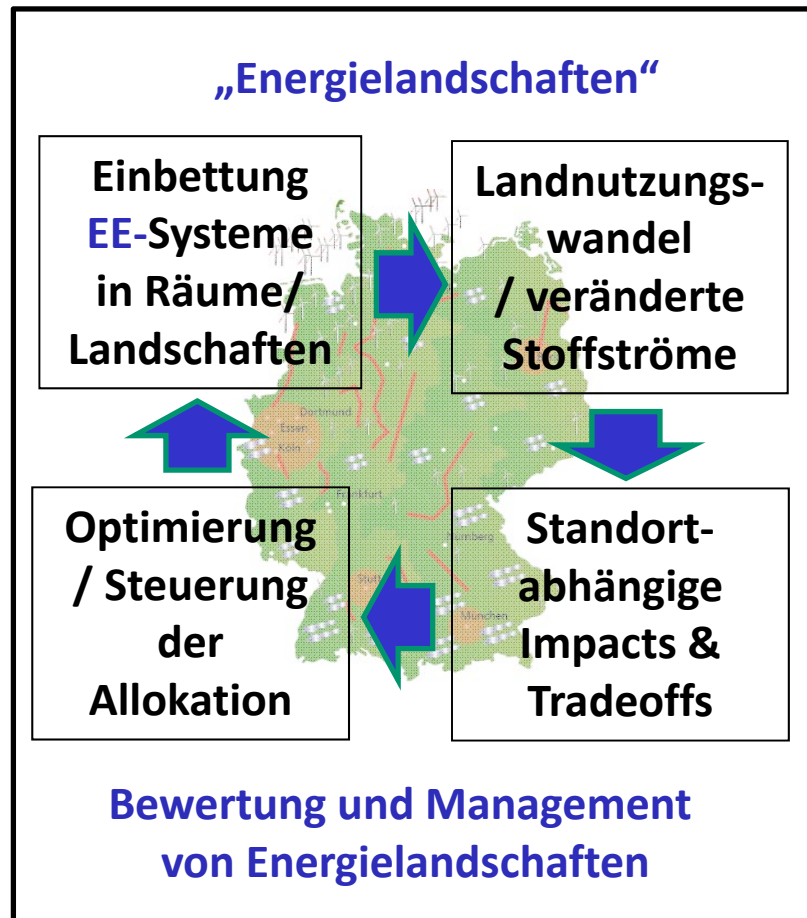
UFZ • **Prof. Dr. Erik Gawel**, Dr. Marcus Eichhorn, Dr. Sinead O’Keeffe, Prof. Dr. Daniela Thrän

DBFZ • Martin Dotzauer, Dr. Volker Lenz, Prof. Dr. Daniela Thrän

DLR • Dr. Jacob Estevam Schmiedt, Dr. Christoph Schillings

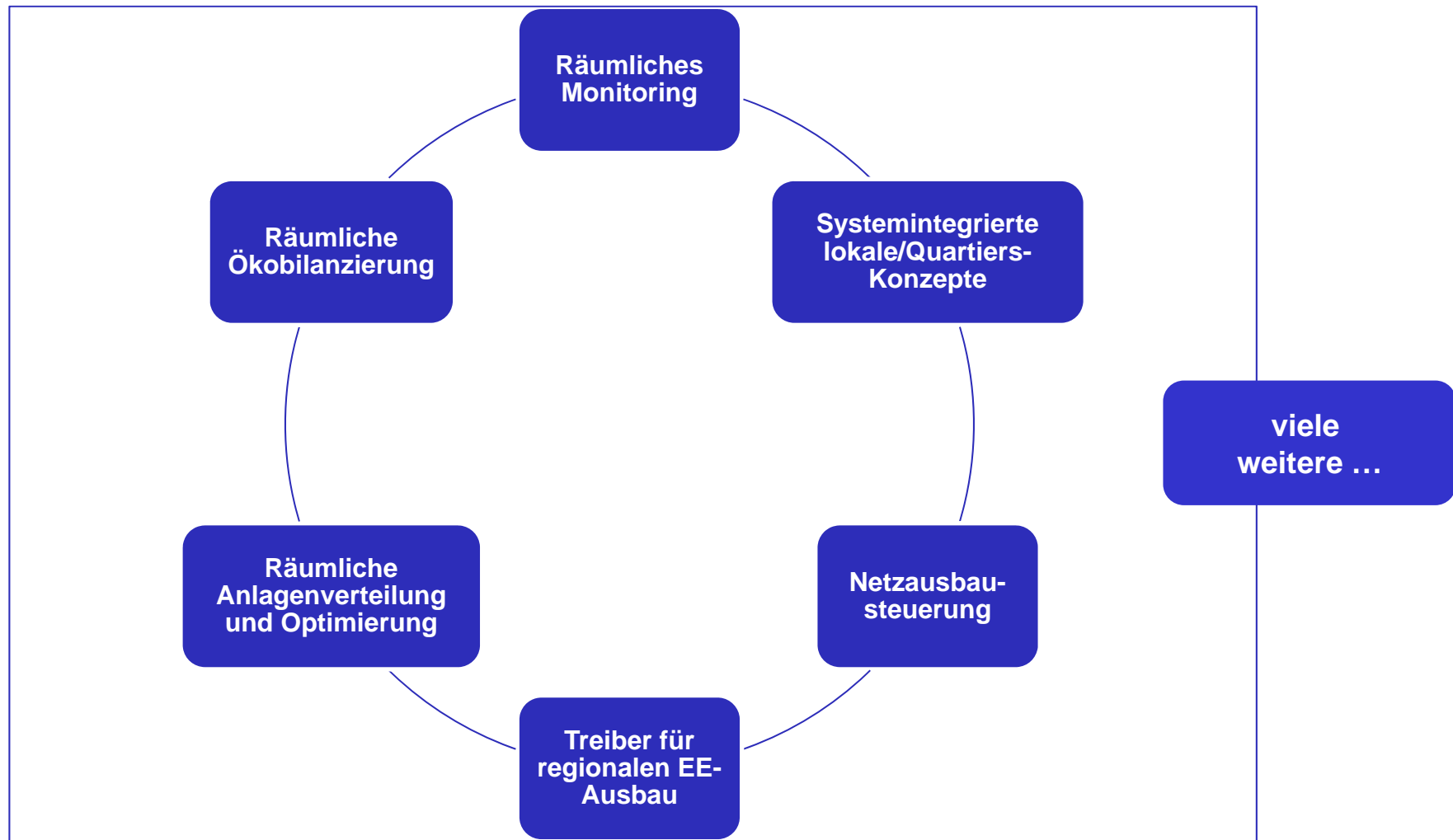
ISE • Gerhard Stryi-Hipp

Raumwirkungen innovativer Konzepte und Technologien



- **Optionen u. Konsequenzen** von „**Dezentralität**“ unter Berücksichtigung der Systembedingungen (natur-räumlich, technologisch, Treiber, Steuerung) und Trade-offs (Effizienz, Umwelt)
- **Entscheidungsunterstützung, Optimierung** und **Monitoringansätze** für die räumliche Organisation
- **Steuerungsansätze** und deren Implementierung unter Berücksichtigung sozio-ökon. Trade-Offs

Raumwirkungen innovativer Konzepte und Technologien



EE-Monitor – „Naturschutzfachliches Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich“

Thrän/Peters/Kinast/Klenke/Eichhorn/Oehmichen/
Erdmann, GAiA 2018



Hintergrund

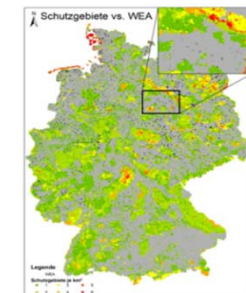
- Analyse negativer Umweltwirkungen bestimmter Technologien konnte nicht mit Ausbautempo Schritt halten
- Fehlende Deutschlandweite Informationen zu den Auswirkungen des EE-Ausbaus



Foto: Martin Lindner, Windkraftopfer-Rotmilan 18.05.16 Arnsberg-Kirchlinde, CC BY-SA 3.0.

Zielsetzung

- Systematische Erfassung (**Monitoring**) ausgewählter Konflikte zwischen gegenwärtigen und zukünftigen erneuerbaren Energien Technologien und Natur & Landschaft
- Bereitstellung eines Instrumentariums für ein dauerhaftes Monitoring
- Ableitungen von Handlungsempfehlungen für die Politikberatung zum weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien



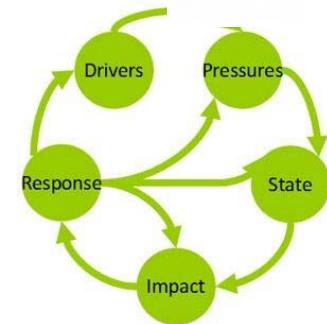
Informationssystem



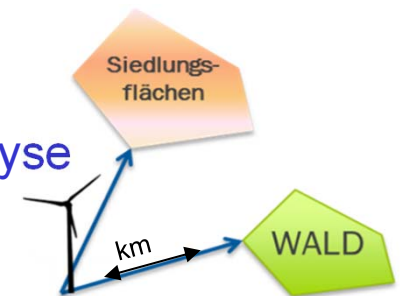
EE-Monitor – „Naturschutzfachliches Monitoring des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich“

Methode:

- **Identifizierung relevanter Konflikte**
- **Indikatorherleitung:** (a) Top-down- und (b) Bottom-Up-Ansatz
 - a) Vom Konflikt zum Indikator - **Konfliktindikatoren:** Indikatorableitung gemäß dem Driver-Pressure-State-Impact-Response- (DPSIR) Ansatzes
 - b) Von den Daten zum Konflikt – **räuml. Indikatoren:** Zeitreihenanalyse räumlich expliziter Anlagenstammdaten in Bezug auf Lage und Dichteveränderungen



DPSIR-Ansatz



Lagespezifische Analysen

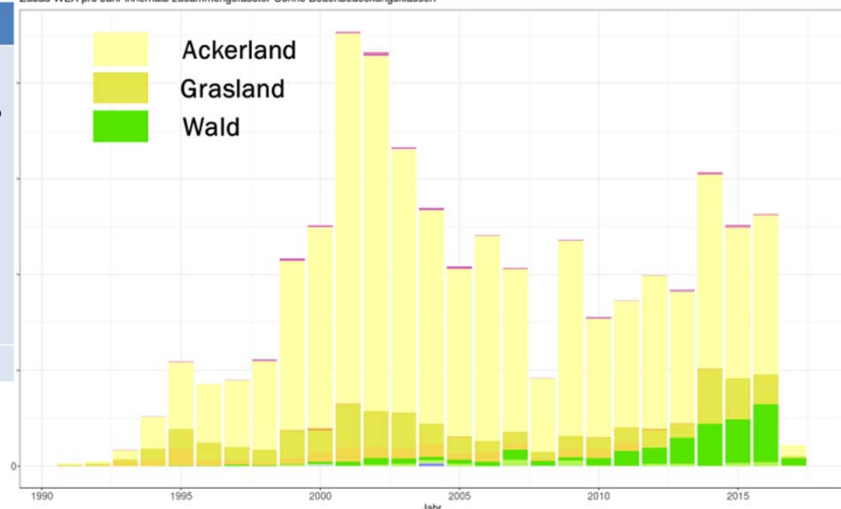
Erste Ergebnisse:

a) Indikatorenset für den Konflikt: Vogelschlag an WEA

Pot. Konflikt	Treiber	Druck	Zustand	Auswirkung	Reaktion
Individuenverluste von Vögeln durch Kollision mit der Anlage (vor allem mit den sich drehenden Rotorblättern)	Ausbauziele Erneuerbare Energien (Windenergie)	Anteil des potenziellen Lebensraumes kollisionsgefährdeter Vogelarten innerhalb fachlich festgelegter Abstände – Habitatstörungspotenzial	Deutscher Populationsbestand und dessen Entwicklungstendenz	Verhältnis der Anzahl Kollisionsopfer zur theoretisch, populationsbiologisch zu verkraftenden Menge von Individuenverlusten	Technische Minderungsmöglichkeiten?
Qualität	5	2	4	1	4

b) Jährlicher Zubau je Landnutzungskategorie

Zubau WEA pro Jahr innerhalb zusammengefasster Corine Bodenbedeckungsklassen



Stromnetzstabilisierende lokale erneuerbare Wärme – SmartBiomassHeat – Hintergrund/Herausforderung

Erneuerbare Wärme ist zukünftig
zu hohen Anteilen mittels
Wärmepumpen
bereitzustellen.

Fernwärme aus Kohlekraftwerken
wird mittelfristig zumindest teilweise
durch **lokale Lösungen** (Einzel-
Gebäude, Quartiere) ersetzt
werden müssen.

Viele Wärmepumpen brauchen viel erneuerbaren Strom
in den **Ballungsgebieten**,
dieser wird v. a. aus **Wind** und **PV** stammen
- mit **hohen Fluktuationen**.

Windkraft vorw. **offshore** oder
im **ländlichen Raum**
(Abstandsregelungen)

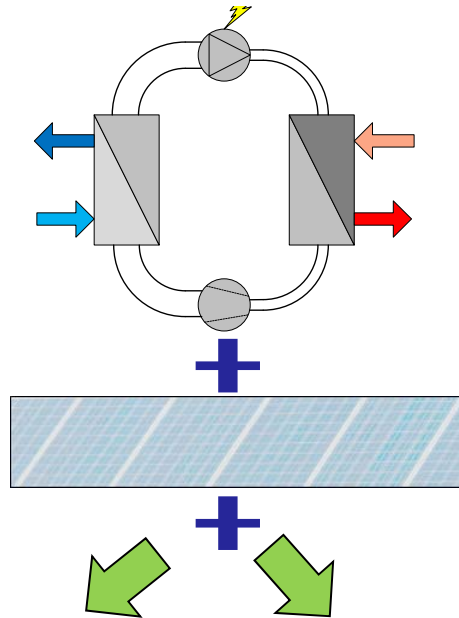
PV in **Großanlagen** v. a. aus dem
ländlichen Raum;
kleine und mittlere Anlagen
gebäudeintegriert im **urbanen Bereich**

➔ **Wie können Wärmepumpen im urbanen Bereich sicher
Wärme mit lokalem erneuerbarem Strom bereitstellen?**

Stromnetzstabilisierende lokale erneuerbare Wärme – SmartBiomassHeat –

Ziel:
Zeitlich und räumlich lokal
sichere und erneuerbare
Wärmeversorgung.

→ Wie können Wärmepumpen im
urbanen Bereich sicher Wärme mit
lokalem erneuerbarem Strom
bereitstellen?



Strombedarf der WP

kalte Temperaturen,
gleichzeitig wird mehr
Wärme benötigt (kalt),
gleichzeitig liefert PV
lokal nur wenig Strom,



Heute schon bei günstigem
Holzbezug wirtschaftlich.

**Scheitholzofen
und Nutzer-
Information
(z.B. App)**

**Biomasse-Wärme-Kraft-
Kopplung aus Vergaser
und Motor oder zukünftig
Brennstoffzelle.**

Hochflexible Anlagen im Labor entwickelt;
Einsatz von High-End-Fuels (z.B. torrefi-
zierte Restholzpellets)



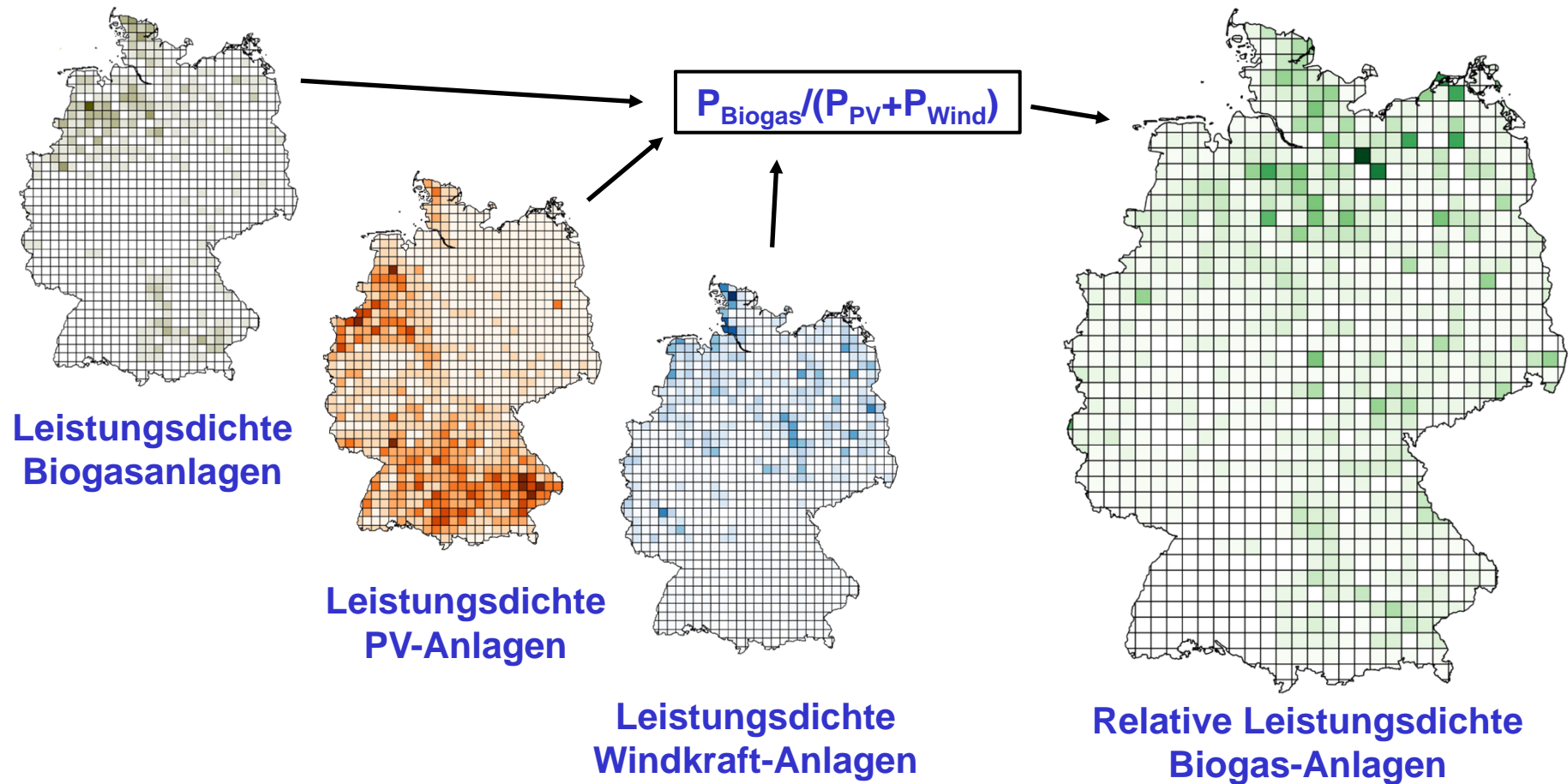
Quelle: Krüger,
DBFZ 2014

Räumliche Leistungsdichteverteilung Biogas

Projekt: RegioBalance

- **Untersuchung, ob flexible Bioenergieanlagen im Verteilnetz eine Option zur Minderung des Netzausbaubedarfs darstellen kann**
- **Bioenergie-Flexibilisierung als regionale Ausgleichsoption** im deutschen Stromnetz (RegioBalance / FKZ: 391-2000-039)
- Bestimmung relevanter Untersuchungsräume anhand der Bestimmung der **relativen Leistungsdichte von Biogasanlagen** im Verhältnis zur installierten Leistung von fluktuierenden EE (PV + Wind)
- Rasteranalyse (20 km) anhand der installierten Leistungen im Jahr 2015
- **Bereitstellung von regionaler Flexibilität ist ein zusätzlicher Systemnutzen - zusätzlich zum Ausgleich fluktuierender Residuallasten** (diese Doppelfunktion konnte im Projekt in Simulationsrechnungen gut erfüllt werden)
- **Bioenergieanlagen haben lokal sehr stark variierende Leistungsdichten**
→ flexiblen Biogasanlagen können potenziell nur in bestimmten Regionen einen signifikanten Beitrag zur Senkung des Verteilnetzausbaus leisten

Räumliche Leistungsdichteverteilung Biogas Projekt: RegioBalance (Bezugsjahr 2015)



RELCA – Regionale und räumliche Ökobilanzierung der Bioenergie

Frage 1) :

- Was sind die regionale und die räumliche Verteilung von Treibhausgasen, die mit Bioenergie-Systemen verbunden sind?

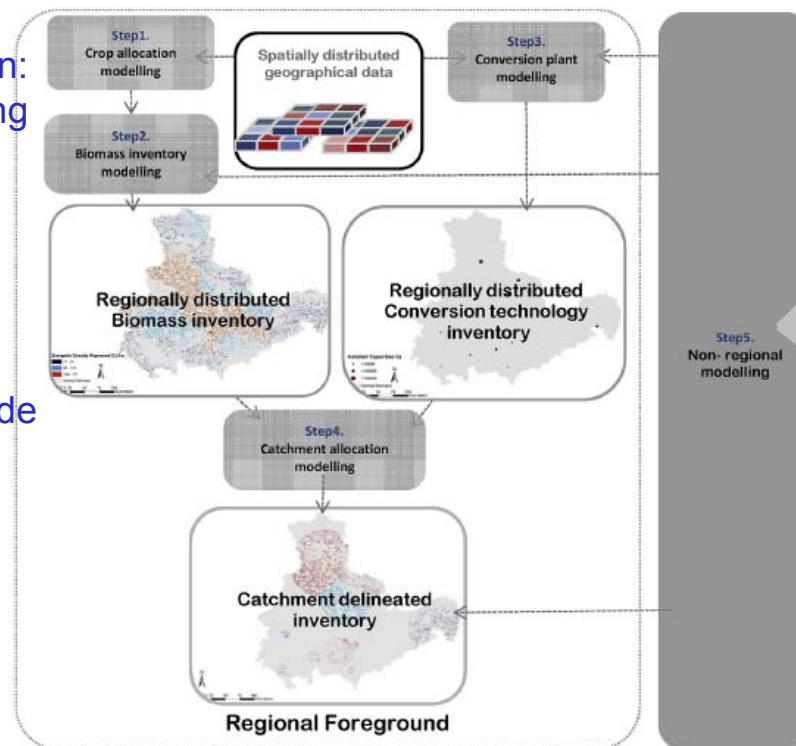


Methode:

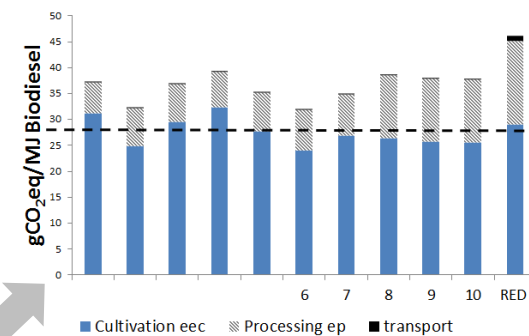
RELCA model “Regional Life Cycle Inventory Assessment”

Räumlich aufgelöste Daten:
Boden, Klima, Landnutzung
(Feldfrüchte), Bioenergie
Anlagen

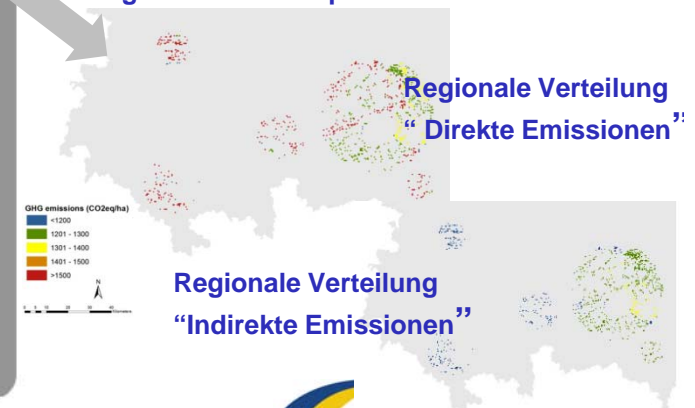
Ökobilanzierungs- Methode
wurde entwickelt,
um THG-Minderung von
regionalen Bioenergie-
systemen zu bewerten.



Aggregierte THG-Ergebnisse – im Vergleich mit dem Standardwert der RED



Disaggregierte THG-Ergebnisse für den angebundenen Rapsanbau

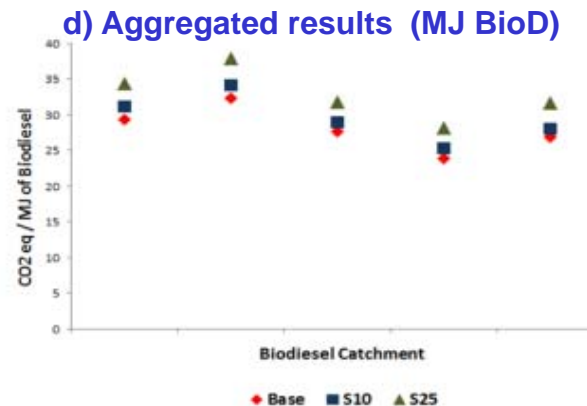
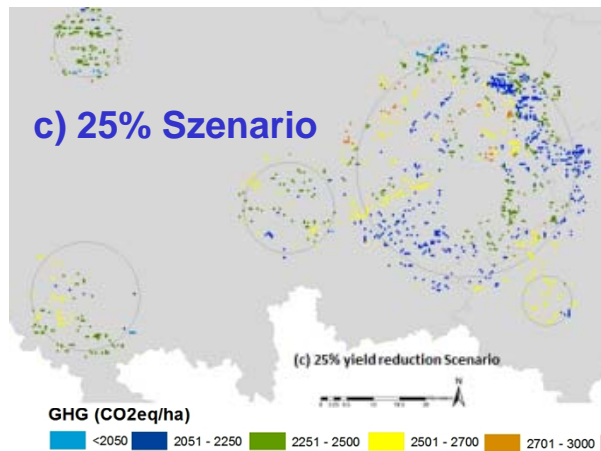
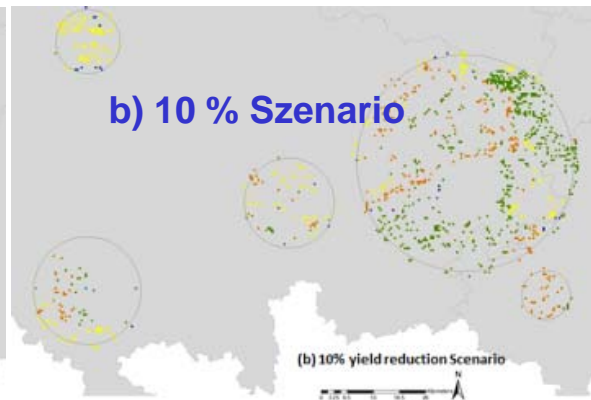
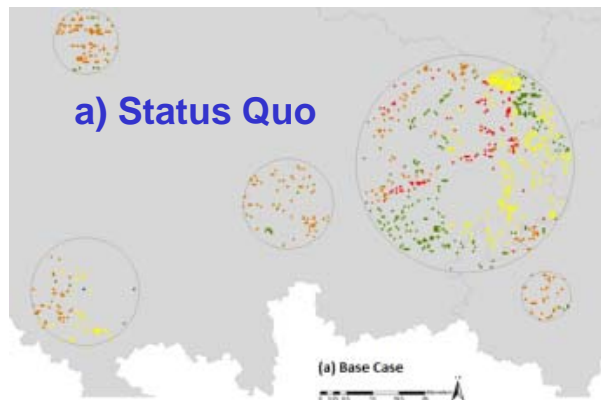


RELCA – Regionale und räumliche Ökobilanzierung der Bioenergie

Frage 2) :



- Wie sensibel sind die THG-Emissionsminderungen von regionalen Bioenergiesystemen unter verschiedenen Bedingungen?



Regionaler Biodiesel:

Trade-off zwischen verminderter Stickstoffdüngung und Landnutzung

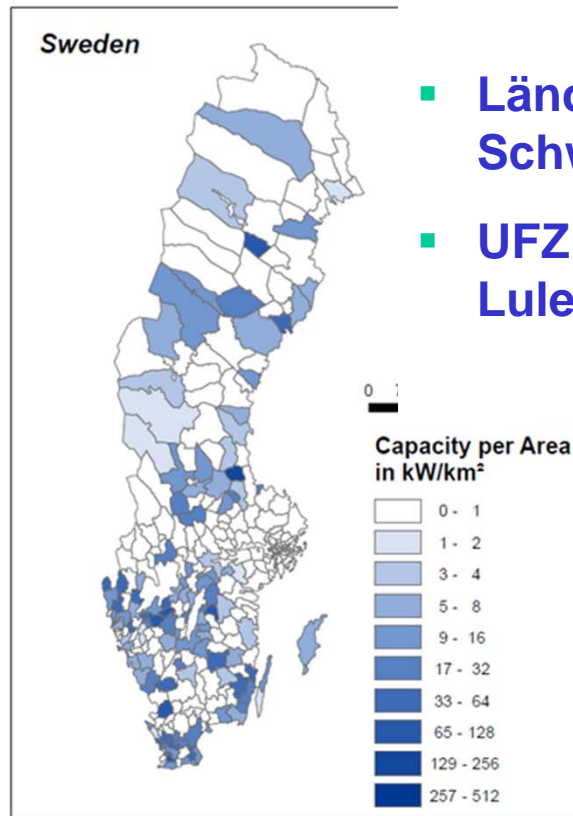
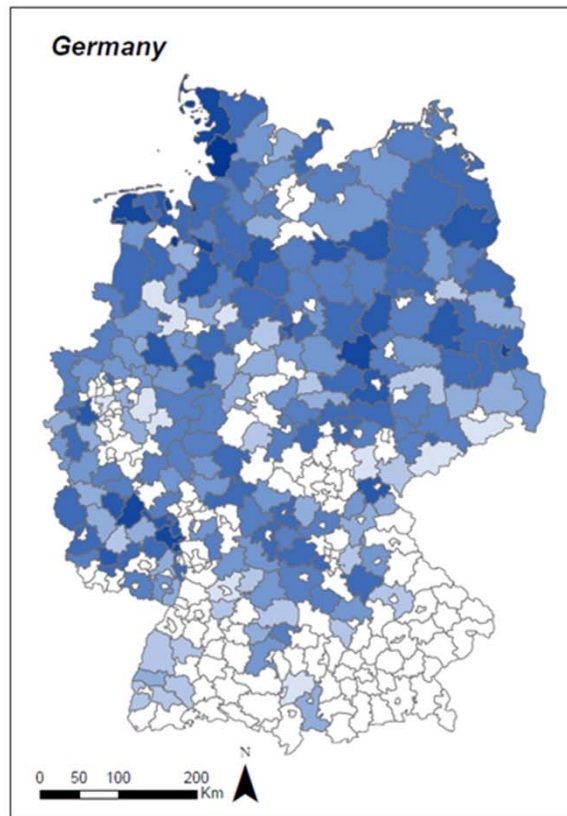


Emissionen werden pro Hektar verringert, aber Landnutzungsfläche steigt - deswegen Erhöhung der THGs/MJ

Regionale und räumliche Ökobilanzierung ist nützlich für:

- Identifizierung der regionalen und räumlichen Trends, die mit Bioenergieproduktion verbunden sind
- Integrierte Bewertung von Bioenergie-technologien und Landnutzung in der Energielandschaft

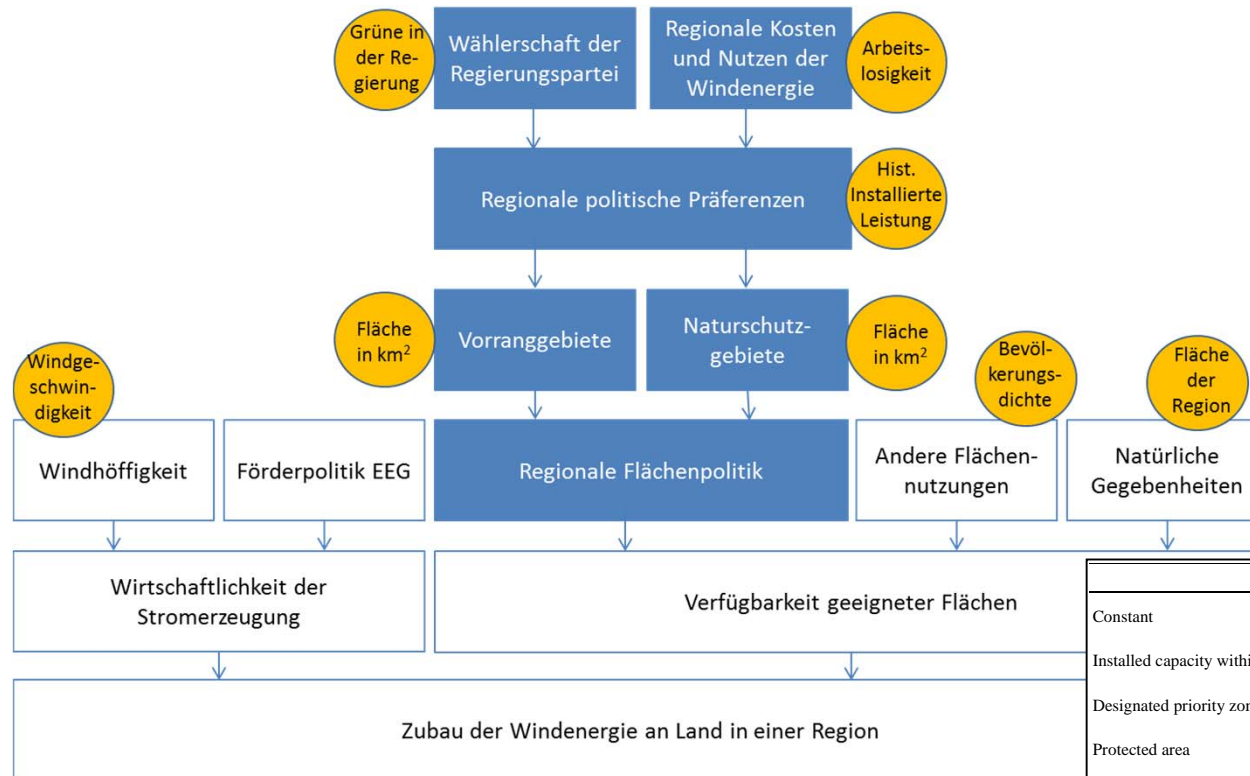
Treiber: Warum erfolgt der Ausbau der Windenergie auf regionaler Ebene so unterschiedlich?



- Ländervergleich Deutschland – Schweden
- UFZ in Kooperation mit der TU Luleå (Prof. Söderholm, Prof. Ek)

Zubau installierter Leistung für Windenergie an Land pro Region in KW/km² zwischen 2008 und 2012

Räumlich-ökonomische Analyse der regionalen Heterogenität des Windenergie-Ausbaus



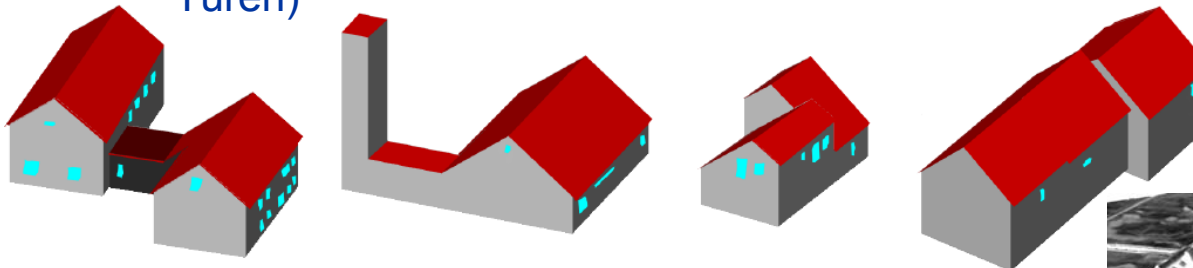
Lauf/Lehmann/Gawel/Söderholm/Ek, The Regional Heterogeneity of Wind Power Development: Comparative Perspectives from Germany and Sweden, in prep.

- Statistischer Beleg: Regionale Flächenpolitik wichtiger Erklärungsfaktor für regional unterschiedlichen Ausbau der Windenergie

	Tobit		Probit		Truncated	
Constant	-8.43218 (3.2442)	**	-8.70329 (3.62718)	*	-3.51659 (3.25451)	
Installed capacity within Federal States	0.00017 (6e-05)	**	2e-05 (7e-05)		0.00021 (6e-05)	***
Designated priority zones	0.70673 (0.18386)	***	0.93193 (0.32372)	**	0.32715 (0.17448)	
Protected area	-0.10441 (0.05314)	*	-0.07936 (0.04458)		-0.03068 (0.07497)	
Participation of the Green Party in Federal Gov.	-0.13927 (0.06076)	*	-0.16736 (0.06152)	**	-0.00905 (0.06208)	
In Land area	0.78795 (0.2634)	**	0.73185 (0.26327)	**	0.33656 (0.29041)	
In Population density	-0.31766 (0.25672)		0.08177 (0.25818)		-0.42753 (0.2591)	
Wind speed	1.01289 (0.26161)	***	0.79743 (0.3147)	*	0.75962 (0.2559)	**
Unemployment rate	0.201 (0.07503)	**	-0.03049 (0.08848)		0.31701 (0.07469)	***
Sigma	1.55723 (0.09352)	***			1.27415 (0.08818)	***
Observations	209		209		209	
Log Likelihood	-315.0523		-70.1543		-230.958	
adjusted R ²	0.5261				0.5079	
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05						

Gebäudetomograph – quartiersweite Gebäudebestandserfassung mit Fernerkundung

- RGB -> Detaillierte Geometrie
- Infrarot -> Wärmestrahlung (3D)
- Hyperspektral -> Oberflächenmaterialien
- Automatisierte Anreicherung mit Semantik (Dächer, Fenster, Türen)



Frommholz et al., The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-1/W1, 2017

Anwendung z.B. für:

- Quartiersweiten Sanierungsbedarf
- Solarpotenzial (einschließlich Fassaden)
- Simulation von Lasten für Energienetze
- Mikroklima



Optimierte räumliche Anlagenverteilung für lokale Energiesysteme mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien



Herausforderung: Für lokale Energiesysteme von Quartieren, Städten oder großen Liegenschaften mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien sind die Flächen zur Installation der Solar- und ggf. Windkraftanlagen und resultierende EE-Potenziale meist stark limitiert und oft nicht ausreichend im Verhältnis zum Energiebedarf.

→ Sorgfältige Potenzialanalyse, Systemoptimierung und **optimierte Verteilung der Solar- und Windkraftanlagen notwendig.**

Vorgehensweise:

1. Energiebedarfsberechnung
2. Ermittlung der Flächenpotenziale als wesentlicher Parameter der Solar- und Windpotenziale
3. Optimierung des Energiesystems (Ermittlung der erforderlichen Anlagenleistungen)
4. **Entwicklung eines Vorschlags zur räumlichen Verteilung der Anlagen auf den verfügbaren Flächen**



Foto: Solarsiedlung, Stryi-Hipp



Projektbeispiel: Berechnung eines optimierten Energiesystems zur CO₂-neutralen Autoproduktion von Toyota in Burnaston (UK)

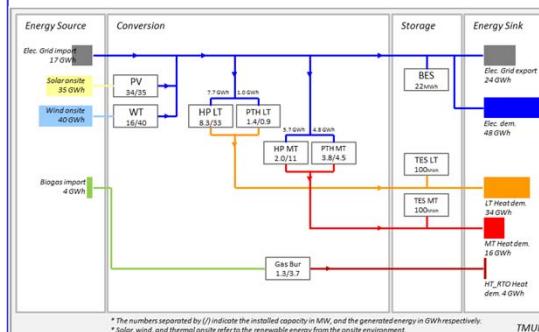
1. Berechnung des im Zieljahr zu erwartenden Energiebedarfs

2. Ermittlung EE-Potenzial durch Ermittlung nutzbarer Flächen zur Installation v. Wind-/Solaranlagen



Horizontal area availability			
Area Type	Area	Area usability for PV	Suitable PV installation area
	[m ²]	[%]	[m ²]
Buildings	308.347	59%	181.789
Parking	342.932	60%	205.759
Remaining area	1.778.252	62%	1.098.007
Total area	2.429.531		1.485.555

3. Berechnung des optimierten Energiesystems, zeitlich hochaufgelöst und sektorgekoppelt



Empfohlenes Szenario:

Installierte PV-Leistung: 34.2 MW
(24,6% der solargeeigneten Fläche)

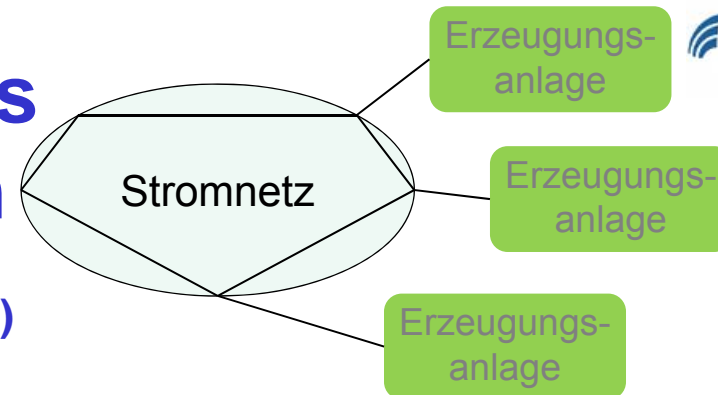
Installierte Wind-Lstg: 16.2 MW
(100% des ermittelten Potenzials

4 Windkraftanlagen á 4 MW)
112% des Strombedarfs (75 GWh pro Jahr) können damit auf dem Fabrikgelände erzeugt werden

4. Vorschläge zur Positionierung der Solar- und Windkraftanlagen auf den verfügbaren Flächen



Steuerung des Netzausbaus als Raumordnungsproblem



Speziell: Anreize für Stromeinspeiser (supply-side)

- Netzbetrieb in Deutschland ist **entflochten**: Jetzt separierte Entscheidungen über Netz- und Erzeugungsausbau

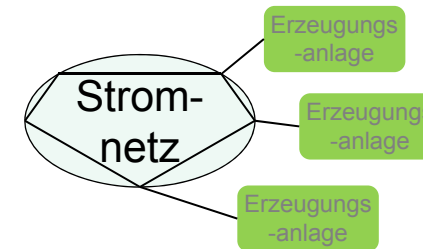
Regulatorischer Status quo:

- Kostentragung für **Netzanschluss** durch Netznutzer (Einspeiser + Ausspeiser)
- Kostentragung für **Netzausbau** durch Netzbetreiber → Überwälzung auf Entgelträger
- **Netzentgelte** de lege lata nur für Ausspeiseseite (§ 15 Abs. 1 StromNEV)
- **Problem: Fehlende räumliche Allokationssignale für die Einspeiseseite: Nachhaltigkeit der Stromversorgung?**

Steuerung über den Strompreis	Steuerung über Netzentgelte	Ordnungsrechtl. Steuerung
Nodal Pricing	G-Komponente (G = <i>generation</i>)	Netzausbauggebiete (EEG)
Market Splitting	Baukostenzuschuss	

Korte/Gawel,
Wirtschaftsdienst
2018

Anreize für Netzeinspeisung



- **Steuerung über Strompreis** effektiver als über Netzentgelt, aber mit höherer Unsicherheit für Akteure
- Energiewende-Konformität Strommarkt-basierter Ansätze scheint höher (positiver Effekt auf konv. Erzeugermix, keine Schlechterstellung von EE-Bestandsanlagen, Netzausbau kann reduziert werden)
- Beschränkung der regionalen Preisdifferenzen auf Erzeugung erhöht pol. Durchsetzbarkeit
- **Market Splitting nach italienischem Vorbild (= Einheitspreis auf Ausspeiseseite)** mit komparativen Vorteilen:
 - bietet Vorteile marktbasierter Ansätze
 - reduziert Probleme eines Nodal Pricing
 - verspricht gewissen Wohlfahrtsgewinn ggü. status quo
 - bietet Ansatzpunkt für schrittweisen Einstieg in Nodal Pricing
- Aber: Anfälligkeit für „politische Festsetzung“ des Marktgebiets → Delegation der Entscheidung auf Regulierungsbehörde könnte dieses Problem mindern

Raumwirkungen innovativer Konzepte und Technologien

Fazit

Regional- und Raumanalysen als wichtige Ergänzung der Energie(system)forschung im EE-Zeitalter

- **Treiber verstehen**
- **Regionale/lokale Muster und Impacts erkennen**
- **Räumliches Monitoring**
- **Optimierung und Konfliktmanagement**
- **Innovative Steuerungskonzepte**